

В.С. Білецький

СУМІЩЕНІ ТЕХНОЛОГІЧНІ ПРОЦЕСИ – ПЕРСПЕКТИВНИЙ НАПРЯМ РОЗВИТКУ В ГІРНИЦТВІ

Виконано огляд і аналіз суміщених технологічних процесів. Надано загальну характеристику, підходи до аналізу й створення нових суміщених технологічних процесів у гірництві.

СОВМЕЩЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ – ПЕРСПЕКТИВНОЕ НАПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЯ В ГОРНОМ ДЕЛЕ

Выполнен обзор и анализ совмещенных технологических процессов. Представлено общую характеристику, подходы к анализу и создание новых совмещенных технологических процессов в горном деле.

COMBINED TECHNOLOGICAL PROCESSES – A PROMISING DIRECTION OF DEVELOPMENT IN MINING

A review and analysis of the combined technological processes are carried out. The general characteristic, approaches to the analysis and creation of new combined processes in mining are shown.

ВСТУП

Суміщення технологічних процесів – це поряд з гео-, нано- та ІТ-технологіями один з перспективних напрямів розвитку сучасної науки і техніки. Суміщення процесів у гірництві дозволяє отримати позитивний синергетичний ефект – як правило, такі технологічні процеси вигідно відрізняються меншими енергетичними витратами, простішими технологічними схемами (меншою кількістю машин і апаратів), екологічними перевагами та ін. Виконаний огляд і аналіз суміщених процесів показує різний ступінь їх взаємозалежності в часі та просторі. Можна виділити: практично злиті (нероз'єднувальні) процеси; об'єднані процеси, які в певних рамках і допусках можна розглядати як одночасні, але окремі; послідовні (в часі), паралельні та послідовно-паралельні суміщені процеси.

ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ І СТАН ЇЇ ВИВЧЕННЯ

Суть суміщення технологічних процесів (в часі і просторі) – реалізація двох і більше процесів в одному апараті (робочому просторі) і одночасно. Це дозволяє, поперше, скоротити сукупну тривалість технологічних операцій і, по-друге, зменшити кількість необхідного обладнання, спростити технологічну схему гірничого підприємства (цеху, дільниці тощо) [1, 2].

У гірництві та суміжних галузях можна виділити низку груп суміщених процесів, зокрема: «видобування – збагачення»; «видобування – газифікація»; «гідротранспорт – селективна агрегація»; «мокре подрібнення – селективна агрегація»; «подрібнення – сушка».

Однак до сьогодні суміщені технологічні процеси не розглядалися як окрема

група, з притаманними їй рисами. Натомість широко відомі техніко-технологічні описи окремих процесів, їх дослідження, вдосконалення, практика експлуатації.

Мета цієї роботи – спроба комплексного аналізу суміщених процесів, виділення їх в окрему групу. Привернення уваги наукової громадськості до суміщення технологічних процесів як перспективної інновації, на нашу думку, може зініціювати пошук нових технічних рішень у гірництві та суміжних галузях.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА СУМІЩЕНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ГІРНИЦТВІ

Процеси «видобування – збагачення» містять операції з власне видобування корисних копалин з надр у результаті їх розробки й операції первинної обробки мінеральної сировини, що мають на меті відділення всіх цінних мінералів від пустої породи, а також взаємне розділення цінних мінералів.

Приклади таких процесів, які вже освоєні в промисловості: комплексна технологія «рідинна екстракція (в пласті) – електроліз», яка суттєво здешевлює процес видобування деяких металів, зокрема міді. Це, зокрема, промислове підземне вилуговування міді, урану (SX/EW-технологія), промислово-експериментальне – марганцю, заліза, кобальту, нікелю, цинку, селену, молібдену, золота, титану, ванадію та ін. У світі частка SX/EW-технологія видобування міді весь час зростає і сьогодні сягає понад 13%. У Чилі виробництво екстракційної міді активно зростає і складає понад 20% на рік [3, 4].

Прикладом можливого (ще не розробленого) процесу «видобування – збагачення» може бути гідровидобуток «солоного вугілля», який міститиме: гідровидобуток (шахтний або свердловинний) вугілля; передачу гідросуміші вугілля гідротранспортом на поверхню – під час цього органічна речовина вугілля знесолюється, а глини розмокають та дезінтегрують (подрібно-

ються до тонких класів); розділення гідросуміші в осаджувальній центрифугі (з підвищеним числом Фруда), що забезпечує зневоднення і водночас збагачення по солі (видалення солей з водною фазою) та відокремлення глин. У результаті такого суміщеного процесу одержують знесолене вугілля і фугат, що містить солі та зольні фракції (хвости).

Процеси «видобування – газифікація» вугілля, сланців, сірки та ін. копалин, що містять горючі компоненти. Перша у світі промислова станція підземної газифікації вугілля стала до ладу 1937 року в м. Горлівка (Донбас). В різні роки працювало до шести дослідно-промислових і промислових станцій. Сьогодні використовується дві з них – Південно-Абінська (Росія, Кузбас) та Ангрєнська (Середня Азія) [5]. Дослідно-промислові установки є в США, ФРН, Великобританії, Канаді, Австралії. Наукові дослідження з підземної газифікації в Україні ведуться в Національному гірничому університеті, Донбаському державному технічному університеті [6, 7, 19]. Зокрема, останніми роками активізувалися роботи з підземної газифікації тонких пластів вугілля. У 2007 – 2010 рр. виконувався міжнародний науково-дослідний проект: «HUGE: Hydrogen Oriented Underground Coal Gasification for Europe (Водневоорієнтована підземна газифікація вугілля для Європи) [6, 7].

Процеси «гідротранспорт – селективна агрегація» та «мокре подрібнення – селективна агрегація». Ці процеси об'єднують наявність спеціального процесу збагачення та зневоднення тонкодисперсного гідрофобного матеріалу «масляна агломерація» (oil agglomeration), для реалізації якого необхідно і достатньо забезпечити перемішування водовугле-масляної суміші певного складу у турбулентному режимі [1, 8].

Суміщений процес «гідротранспорт – селективна агрегація» має місце як у випадку промислового, так і магістрального гідротранспорту.

При промисловому гідротранспорті водовугільної пульпи з добавкою 1 – 3 мас.%

гідрофобного реагента в умовах вуглезабагачувальних фабрик відбувається селективна флокуляція й агломерація вугільної фази безпосередньо у гідротранспортній системі, що підвищує флотуваність вугілля ультратонких класів крупності. Турбулентність гідросуміші підтримується самим режимом транспортування, проте, як показано в роботах [1, 8], для інтенсифікації цього процесу можуть бути використані насоси, місцеві опори (коліна і згини трубопроводів, байпаси тощо). Іноді використовують імперери та внутрішні гвинтові нарізки. Ця технологія була запропонована у 1980-х роках в Японії та паралельно в Україні (ДонНТУ) [1, 9 – 10]. У 2010-х роках вона докладно опрацьована в роботах [11 – 13].

При магістральному гідротранспорті водовугільної пульпи з добавкою 1 – 3 мас.% гідрофобного реагента або суміші «вугілля – вуглемасляний гранулят» масляна агломерація вугілля здійснюється безпосередньо в гідротранспортному трубопроводі, тобто гідравлічний транспорт вугілля та його масляна агломерація відбуваються одночасно. Окремі аспекти цього процесу – як з точки зору збагачення корисних копалин, так і з точки зору гідравлічного транспортування вуглемасляного агломерату – досліджувалися в ДонНТУ, НВО «Хаймек», Інституті фізико-органічної хімії та вуглехімії НАНУ [1, 14 – 16] і були запропоновані для використання в магістральних гідротранспортних системах як енергетичного, так і коксівного вугілля. У 2010-х роках технологія одержала свій розвиток в роботі [17].

Процес «мокре подрібнення – селективна агрегація» (процес CFRI) опрацьована в Індії у 1970-х роках. Технологія детермінується фундаментальним чинником фізико-хімічної активації вугільної поверхні, її механо-хімічною деструкцією, яка суттєво підвищує агломераційну здатність вугілля і є основною відмінністю процесу, що вигідно відрізняє його від аналогів. Процес CFRI розроблено в Центральному дослідному інституті палива (Central Fuel

Research Institute) Індії. Розробники технології – Д. Саркар та ін. [18].

Процес «подрібнення – сушка» широко використовується в паливно-енергетичній галузі для підготовки вугілля на ТЕС. При факельному спалюванні вугілля подрібнюється до крупності – 100 мкм і водночас піддається термічній сушці до рівня 1 – 3% вологості у млинах-сушарках. Сухий вугільний порошок пневмотранспортом подається в ядро факела і спалюється з «підсвічуванням» природним газом, мазутом або без них [20, 21].

АНАЛІЗ, ДОСЛІДЖЕННЯ І СТВОРЕННЯ НОВИХ СУМІЩЕНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ У ПІРНИЦТВІ

Суміщені технологічні процеси мають свої специфічні відмінності як в їх теоретичному описі, так і в практичній реалізації. Зупинимося на головних з них докладніше.

Феноменологічна (факторна) модель суміщених процесів суттєво відрізняється від традиційних. Якщо операції в останніх відбуваються послідовно і паралельно, але відокремлено, то в суміщених процесах картина значно інша – вхідні фактори діють одночасно. При цьому «коридор варіативності» низки з них звужений внаслідок «своїх» обмежень у кожного з окремих субпроцесів (які, як правило, не збігаються), що, зрозуміло, погіршує можливості для автоматизації й оптимізації. Наприклад, у парі «видобування – збагачення» процес підземного вилуговування (збагачення) залежить від природної пористості гірських порід (рудного тіла), а такий фактор як крупність оброблюваної руди, що має місце у класичному вилуговуванні, взагалі відсутній, що утруднює як сам технологічний процес вилучення корисного компоненту в розчин, так і його автоматичне регулювання. Водночас вилуговування і є по суті видобуванням, тобто може розглядатися як один єдиний процес, хоча і зі специфічними обмеженнями окремих чинників. До такого ж класу суміщених про-

цесів можна віднести і пару «видобування – газифікація».

В іншій парі процесів «гідротранспорт – селективна агрегація» селективна агрегація (скажімо, тонкодисперсного вугілля аполярним реагентом) буде протікати практично за будь-яких умов гідротранспорту – від цих умов залежатиме механізм зустрічі агрегованих зерен і кінетика процесу, а параметри гідротранспорту (режим течії, втрати напору по трубопроводу) залежатимуть від структури крупності та структури твердої фази гідросуміші. Тобто субпроцеси суттєво взаємозалежні, але в окремих часових або просторових рамках можуть розглядатися як окремі (при певних обмеженнях параметрів). Уявляється, що до цього класу процесів можна віднести і пару «подрібнення – сушка».

ВИСНОВКИ

1. Показано, що в гірництві за останні десятиріччя розроблено низку специфічних суміщених у часі та просторі гірничих тех-

нологічних процесів, які дозволяють розширити їх можливості і отримати позитивний синергетичний ефект. Як правило, суміщені технологічні процеси вигідно відрізняються від несуміщених меншими енергетичними затратами, простішими технологічними схемами (меншою кількістю машин і апаратів), екологічними перевагами та ін. На цій основі можна констатувати формування нового перспективного напрямку розвитку сучасної гірничої науки і техніки – *суміщених технологічних процесів*.

2. Попередній огляд і аналіз суміщених процесів показує різний ступінь їх взаємозалежності в часі та просторі. Можна виділити: практично злиті (нероз'єднювальні) процеси; об'єднані процеси, які в певних рамках і допусках можна розглядати як одночасні, але окремі; послідовні (в часі) суміщені процеси і т.д.

У наступних дослідженнях доцільно опрацювати класифікацію суміщених технологічних процесів, їх уніфіковані структурні схеми, загальні підходи до математичного опису та моделювання.



СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Білецький В.С. Теорія і практика селективної масляної агрегації вугілля / В.С. Білецький, П.В. Сергєєв, Ю.Л. Папушин. – Донецьк: Грань, 1996. – 264 с.

2. Світлий Ю.Г. Гідралічний транспорт / Ю.Г. Світлий, В.С. Білецький. – Донецьк: Східний видавн. дім, 2009. – 436 с.

3. Самілін В. Спеціальні методи збагачення корисних копалин: курс лекцій / В. Самілін, В. Білецький. – Донецьк: Східний видавн. дім, 2003. – 116 с.

4. Prasad M.S. Development of SX-EW Process for Copper Recovery – An Overview / Prasad M.S., Kenyen V.P., Asrar D.N. // Mineral Processing and Extractive Metallurgy Review. – 1992. – # 8. – 95 p.

5. Основи хімії і фізики горючих копалин / [Саранчук В.І., Ільяшов М.О., Ошовський В.В., Білецький В.С.]. – Донецьк: Східний видавн. дім, 2008. – 640 с.

6. Газифікація вугільних пластів у шахтних умовах / В.С. Фальштинський, Р.О. Дичковський, К. Станьчак [та ін.] // Школа підземної розробки: матеріали III міжнар. наук.-практ. конф. – Д.: ЛізуновПрес, 2009. – С. 477–486.

7. Способи рекуперації тепла порід при підземній газифікації / М.М. Табаченко, Р.О. Дичковський, В.С. Фальштинський [та ін.] // Гірничі електромеханіка і автоматика: наук.-техн. зб. – Д.: НГУ, 2011. – № 86. – С. 184–190.

8. Білецький В.С. Застосування класичного методу гіпотез для розробки теорії процесу селективної масляної агрегації вугілля / В.С. Білецький // Геологія і геохімія горючих копалин. – 2000. – № 3. – С. 79–86.

9. Пат. № 58-104997 Японія, МКІЗ С10L5/00. Пристрій грудкування вугілля у трубопроводі. Заявл. 22.06.83.

10. Пат. № 58-114721 Японія, МКІЗ В01 J2/00. Прис-
тій масляної агломерації вугілля в насосі. Заявл.
23.07.83.

11. Білецький В.С. Дослідження режиму течії водову-
гільної пульпи при селективній агрегації тонкодисперс-
ного вугілля / В.С. Білецький, Н.В. Сургова // Збагачення
корисних копалин. – 2011. – Вип. 47(88). – С. 127 – 133.

12. Білецький В.С. Селективна агрегація тонкодис-
персного вугілля у гідротранспортній мережі збагачува-
льної фабрики / В.С. Білецький, Н.В. Сургова // Вісті До-
нецького гірничого ін-ту. – 2011. – № 2(30). – С. 32 – 38.

13. Білецький В.С. Застосування статичних змішу-
вачів для селективної агрегації тонкодисперсного вугілля
/ В.С. Білецький, Н.В. Сургова // Вісті Донецького гір-
ничого ін-ту. – 2011. – № 2(30). – С. 56 – 59.

14. Гидротранспорт коксуючогося угля / А.Т. Ели-
шевич, В.С. Белецкий, Ю.Г. Свитлый [и др.] // Промыш-
ленный транспорт. – 1986. – № 6. – С. 11.

15. Белецкий В.С. Частичная масляная грануляция
угля в магистральном трубопроводе – перспективный
метод интенсификации обезвоживания гидросмеси
/ В.С. Белецкий, Т.В. Карлина, А.Т. Елишевич // Обогаще-
ние полезных ископаемых. – К.: Техніка, 1985. – Вып.
35. – С. 76 – 80.

16. Технические решения по масляной агломерации
при гидротранспорте угля / В.С. Белецкий, А.Т. Елише-
вич, Т.В. Карлина [и др.] // Строительство трубопрово-
дов. – 1988. – № 5. – С. 38 – 39.

17. Математичне моделювання процесу зневоднен-
ня вугільного агломерату центрифугуванням / В.С. Бі-
лецький, П.В. Сергєєв, Д.В. Павлов // Вісник Криворізько-
го технічного ун-ту. – 2009. – Вип. 23. – С. 164 – 166.

18. Studies on coal preparation in India / comp. by G.G.
Sarkar et al. for the Central Fuel Research Inst. Dhanbad,
Bihar: C.F.R.I., 1972. – 261 p.

19. Гайко Г.И. Утилизация тепловой энергии при по-
дземной термохимической переработке угольных пла-
стов монография / Гайко Г.И., Заев В.В., Шульгин П.Н. –
Алчевск: ДонГТУ, 2012. – 141 с.

20. Шуваева Н.М. Повышение эффективности под-
готовки к факельному сжиганию низкорреакционных углей
Украины / Шуваева Н.М., Борисенко О.М., Борисенко О.А.
// Вестник НТУ «ХПИ»: Энергетичні та теплотехнічні
процеси й устаткування: сб. науч. тр. – 2005. – № 6. –
С. 124 – 129.

21. Левит Г.Т. Пылеприготовление на тепловых
электростанциях / Г.Т. Левит. – М.: Энергоатомиздат,
1991. – 381 с.

ПРО АВТОРІВ

Білецький Володимир Стефанович – д.т.н., профе-
сор, завідувач кафедри нафтових і газових промислів
Полтавського національного технічного університету
ім. Ю. Кондратюка.